

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-038020

(43)Date of publication of application : 12.02.1999

(51)Int.Cl.

G01N 37/00

G01B 21/30

(21)Application number : 09-191316

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

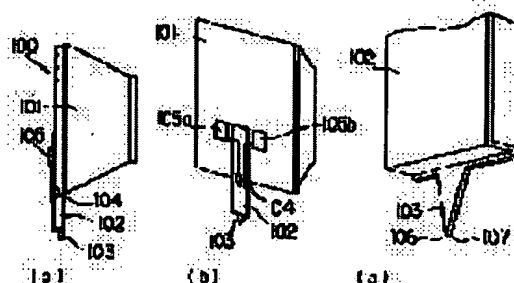
(22)Date of filing : 16.07.1997

(72)Inventor : TODA AKITOSHI

(54) OBSERVATION METHOD OF SCANNING PROBE MICROSCOPE, PROBE FOR SCANNING PROBE MICROSCOPE, AND SCANNING PROBE MICROSCOPE**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a probe for a scanning probe microscope to measure a part of a sample which has a vertical or almost vertical slope angle.

SOLUTION: A probe 100 is provided with a support part 101, a cantilever-like elastic member 102 extended from the support part 101, and a probe part 103 formed on the free end of the support part 101. The probe part 103 is plane and triangular, and the thickness is thinner than the elastic member part 102. The normal direction on the surface of the probe part 103, a ridge line connecting between two points 106 and 107, and the normal direction on the surface of the elastic member 102 are parallel. A detection mechanism part 104 which detects the vibration of elastic member part 102 has been installed in the vicinity of the boundary part between the elastic member part 102 and the support part 101. The signals detected by the detection mechanism part 104 are taken out outside through two electrodes 105a and 105b. The detection mechanism part 104 is constituted with, for example, a sensor utilizing the piezo resistance effect.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-38020

(43)公開日 平成11年(1999) 2月12日

(51)Int.Cl.⁸

識別記号

F I

G 0 1 N 37/00

G 0 1 N 37/00

F

G 0 1 B 21/30

G 0 1 B 21/30

Z

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 10 頁)

(21)出願番号

特願平9-191316

(22)出願日

平成9年(1997) 7月16日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 戸田 明敏

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

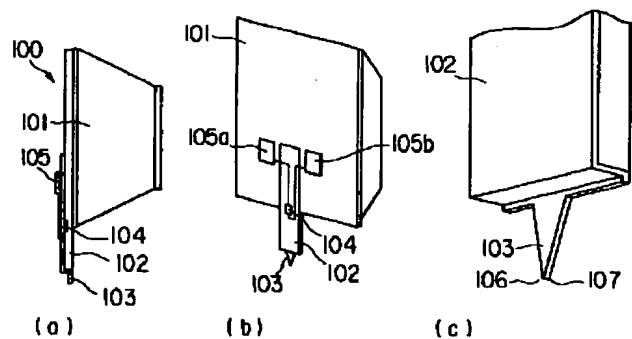
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

(54)【発明の名称】 走査型プローブ顕微観察法と走査型プローブ顕微鏡用プローブと走査型プローブ顕微鏡

(57)【要約】

【課題】試料上の垂直もしくはそれに近いスロープ角度を有する部分を測定するための新規な走査型プローブ顕微鏡用プローブを提供する。

【解決手段】プローブ100は、支持部101と、そこから延びる片持ち梁状の弾性部材部102と、その自由端に形成された探針部103とを有している。探針部103は平板三角形形状をしており、その厚さは弾性部材部102に比べて薄い。探針部103の面法線方向とその先端の二点106と107を結ぶ稜線と弾性部材部102の面法線方向は共に平行である。弾性部材部102と支持部101との境界付近には、弾性部材部102の振動状態を検出する検出機構部104が設けられている。検出機構部104で検出された信号は二つの電極105aと105bを介して外部に取り出される。検出機構部104は、例えば、シリコンのピエゾ抵抗効果を利用したセンサーで構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】少なくとも先端が三角形状をした片持ち梁状の弾性部材を振動させ、振動する弾性部材の自由端近傍の軌跡を実質的な探針として、この実質的な探針と試料表面の間に働く相互作用により起こる弾性部材の振動状態の変化を検出し、この検出情報に基づき前記弾性部材の振動状態が所定の振動状態となるように前記試料表面と前記弾性部材との位置関係を制御しながら、前記試料表面と前記弾性部材を相対的に走査して、試料表面の情報を得る走査型プローブ顕微鏡観察法。

【請求項 2】支持部と、該支持部に保持される片持ち梁状の弾性部材部と、該弾性部材部の自由端に設けられた探針部と、前記弾性部材の振動状態を検出する検出機構とを有し、前記探針部の形状が平板三角形状であり、前記探針部の面法線方向とその先端の二点を結ぶ稜線とが平行である走査型プローブ顕微鏡用プローブ。

【請求項 3】請求項 2 に記載の走査型プローブ顕微鏡用プローブと、前記走査型プローブ顕微鏡用プローブに振動を加えて実質的な探針を得る加振手段と、試料表面と前記実質的な探針の先端との間の相互作用に基づく前記走査型プローブ顕微鏡用プローブの振動状態の変化を検出する振動検出手段と、前記実質的な探針と前記試料表面とを相対的に三次元方向に駆動する駆動手段と、前記振動検出手段からの情報に応じて前記試料表面と前記実質的な探針との間の相互作用を一定に保つように駆動手段を制御する制御手段と、前記制御手段からの制御信号に基づいて前記試料表面の凹凸状態を得る情報処理手段とを有している走査型プローブ顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、IC 半導体の電極ラインパターン等の段差の側壁の粗さや傾き角を測定するための走査型プローブ顕微鏡観察法およびこれを適用した走査型プローブ顕微鏡およびこれに用いるプローブに関する。

【0002】

【従来の技術】走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は、プローブすなわち探針を試料表面に $1\mu\text{m}$ 以下まで近接させた時、もしくは接触させた時に両者の間に働く相互作用 (例えば、原子間力、接触力など) を検出しながら XY 方向あるいは XYZ 方向に走査、もしくは移動することにより、その相互作用の二次元マッピングを行なう装置であり、走査型トンネリング顕微鏡 (STM)、原子間力顕微鏡 (AFM)、磁気力顕微鏡 (MFM)、走査型近接場光顕微鏡 (SNOM) などの総称である。なかでも AFM は、試料表面の凹凸情報を得る装置として SPM のなかで最も普及している。AFM は、カンチレバ

ー先端に形成した探針 (突起) を試料表面に近づけた時に、探針に働く力により生じるカンチレバーの変位を光学式センサー等で検出することにより、間接的に試料表面の凹凸情報を得ている。

【0003】AFM に用いられる探針は、性能のおよびコスト的に有利であることからバッチファブリケーション技術である半導体プロセスを利用して作製される。例えば、「Europhys. Lett. 2(1987) p.1281 (T. Albrecht et al)」には、酸化シリコン薄膜をパターニングして作製するいわゆるフラットレバーについて報告があり、また、特開平 1-262403 には、これを発展させたいわゆるバズビーク型のプローブが提案されている。また、米国特許 5399232 号に記載されているピラミッド形状の探針を持つ窒化シリコン製のカンチレバーや米国特許 5051379 号に記載されているシリコン製のカンチレバーは、既に製品化されており、市場から入手可能である。このようなカンチレバーの探針はポイントターミネート (一点終端) された、探針先端の突起部を実質的な探針として使用しているが、探針全体を眺めたとき、探針頂角は 15° から 90° に留まっている。

【0004】半導体 IC のデザインルールは 256MB の記憶容量のデバイスで $0.25\mu\text{m}$ 則の試作品が作製され、 1GB デバイスでは $0.15\mu\text{m}$ 則が適用されようとしている。これに伴ない、素子の形状検査機は、幅が狭くアスペクト比の大きなものの線幅、さらには全体形状を正確に測定することが求められている。このような形状測定に走査型プローブ顕微鏡が適用可能として、盛んに研究が進められている。

【0005】Yves Martin や H. Kumar Wickramasinghe は「Apply. Phys. Lett. Vol.64 No.19 (1994) PP.2489-2500」において垂直壁を画像化する新しい走査型プローブ顕微鏡を提案している。これに関する特許としては日本国特許 2501282 号がある。この走査型プローブ顕微鏡では、ブーツ型の探針 (先端近くの胴がくびれた円柱状の探針) を使用することにより、試料の垂直壁の測定を可能にしている。この様な探針は、前述のポイントターミネートされた探針とは異なり、その先端のフレア部分の異なる点が凹部の両側の側壁との相互作用を起こす。つまり、ブーツ型の探針には、その先端部に少なくとも二箇所以上に実質的な探針が存在し、これにより実質的な探針頂角は 0° 以下となっている。

【0006】ブーツ型の探針は、 $\phi 2\mu\text{m} \sim \phi 2.5\mu\text{m}$ のカンチレバー側の部分 (太い部分) と、その先につながる細い部分からなり、その細い部分はブーツの様な形をしている。ブーツ状の部分の寸法は、長さ (高さ) $2.8\mu\text{m}$ 、先端の探針はフレア部分 (先端) で $\phi 360\text{nm}$ 、それよりカンチレバーに近いくびれた部分で $\phi 210\text{nm}$ である。

【0007】このプローブを用いて半導体のトレンチ溝

や穴の側壁を測定する時、この探針先端のフレア部分が張り出しているため、その部分が試料表面（側壁）に最も接近する。従って、その様な探針の張り出した部分と試料表面との間隔を一定に保って、探針を走査することにより、側壁の面荒れや傾き角度を測定することができる。

【0008】特開平3-104136は、このようなブーツ型の探針の作製方法を開示しており、探針は、単結晶シリコンウェハーをスタートウェハーとし、フォトリソグラフィにより作製される。約 $\phi 1\mu\text{m}$ 以下の円形のマスクを形成した後、CF₄ガスでドライエッチングして、シリコンウェハーをほぼ垂直に掘り下げることにより、略円柱形状のシリコン製の探針部を形成する。ドライエッチングの条件を変化させると、略円柱形状の探針部分は円柱部中腹が膨らんだり細ったりする。この条件を選択することにより、円柱部中腹が細った単結晶シリコン製の略円柱状の探針を得る。この後、探針部をレジスト等で保護し、レバー部のパターンニングとウェハー裏面からのエッチングを行ない、ブーツ型の探針を有するカンチレバーを得ている。

【0009】一方、AFM用カンチレバーの探針は、測定（走査）中の試料表面との接触により探針先端が摩耗したり折れたりする可能性があり、探針材料は安定したAFM測定を行なうために注意を払う必要がある。例えば、松山らは第55回応用物理学会学術講演会にて（予稿集p.473）において、探針材料の摩耗に関して報告している。単結晶シリコンや窒化シリコンは探針材料として、よく用いられる材料であるが、両者を比較すれば単結晶シリコンより窒化シリコン膜の方が摩耗し難く、さらに窒化シリコン膜の中では、シリコンと窒素とのストイキオメトリが3対4の窒化シリコン膜の方が更に摩耗し難いことを報告している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】Yves Martin らの垂直壁を画像化する走査型プローブ顕微鏡によるまでもなく、通常の走査型プローブ顕微鏡であっても、一般にアスペクト比の高い試料の側壁の根本部分を出来るだけ正確に測定するには、探針頂角が小さく、アスペクト比の高い探針が必要である。

【0011】Apply. Phys. Lett. Vol.64 No.19 (1994) PP.2498-2500 に記載されているYves Martin らの垂直壁を画像化する走査型プローブ顕微鏡法は、ノンコンタクトモードAFMを応用した方法ではあるが、大気中での測定の間、ときどき探針が試料表面に接触してしまうことがある。すなわち、ノンコンタクトモードAFM測定法を応用してはいるが、装置のフィードバック回路の帯域が有限であることから、凹凸の大きな試料やステップ状の段差部を有する試料に対して探針を全く接触させることなく測定することは難しい。このあたり、例えば、同論文の著者であるイブ・マーチンらが特開平6-

194154において、探針を励振させながら行なうコンタクトモードAFM法を応用して、同様の段差を持つ試料の側壁を測定する方法を提案しているという事実や、ヴァージル・ビー・エリングスらが特開平7-270434において、やはり探針を励振させながら行なうコンタクトモードAFM法を応用して、側壁の測定を行なえる顕微鏡を提案しているという事実から、完全なノンコンタクトモードAFM測定法による垂直壁の測定の難しさが推察される。

10 【0012】試料に探針が接触すると、探針は摩耗したり折れたりし、探針の形状が測定中に変化してしまう。Yves Martin らの垂直壁を画像化する走査型プローブ顕微鏡法は、例えば前述のように、サブミクロンのパターン則の半導体ICの電極パターンの形状測定を行なうのに用いられるため、探針がわずか数十nm摩耗しただけでも、測定結果は10%以上も変化してしまう。このため、摩耗などによる探針の形状変化は極めて深刻な問題である。一般に、測定器は高い再現性を有している必要があるが、測定器としてYves Martin らの垂直壁を画像化する走査型プローブ顕微鏡を考えたとき、探針が摩耗により、この測定データの再現性を失わせることは非常に問題である。

【0013】データの再現性を求めるなら、頻繁に探針形状を校正することが考えられる。しかしながら、測定試料を測定する前に、何度も校正のための操作を行なうことは、測定器に求められるスループットの点で問題である。校正作業のために単位時間当たりに測定することのできる試料数が減ってしまうからである。また、その校正に校正用の試料を測定と同等な方法を用いて測定する校正方法を採用すれば、校正作業中に探針が摩耗したりして形状変化する可能性もあり、あまり頻繁に校正作業を行なうのも問題がある。

30 【0014】さらに、Yves Martin らの論文に記載されている垂直壁を画像化する走査型プローブ顕微鏡法に用いる探針は、特開平3-104136に記載されているように、単結晶シリコンをエッチングして作製される。前述のようにシリコンは摩耗のし易い材料であり、摩耗は探針材料の点からも大きな問題である。

【0015】Apply Phys. Lett. Vol.64 No.19 (1994) PP.2498-2500あるいは特開平3-104136に記載されているような、単結晶シリコン製のブーツ型形状をした探針を作製するには、ドライエッチングが用いれているが、一般に数 μm 以上の深さ方向にわたって横方向にサブミクロンのパターンニングを行なうためにドライエッチングを用いると、作製条件がわずかにずれるだけで探針形状が変化してしまうという問題がある。

【0016】また、サブミクロンオーダーの測定試料を測定するにはそれより細い探針を使用する必要があるが、その様な探針を均一性良く作製することは極めて難しい。ウェハー間は勿論、一枚のウェハー内でも場所

よって形状のばらつきが発生する。このことはサブミクロンオーダーのパターン則の半導体ICを作製するためのドライエッチング装置と同等な装置を用いて、それよりも細い探針の作製を試みていることを考えれば、その大変さは容易に理解できる。

【0017】この探針形状(寸法)のばらつきは、最終的には探針作製において、コストアップにつながり大きな問題である。すなわち、非常に細かい測定試料凹凸部分を測定するためには、少なくとも設計の寸法より細い探針に仕上がっているか否かを、出荷時に慎重に検査する必要があるため、検査コストがかさむからである。無論、探針形状のばらつきは、歩留まりもかなり悪くなることから、さらにコストの上昇を招いてしまう。

【0018】本発明の目的は、試料上の垂直もしくはそれに近いスロープ角度を有する部分を測定するための新規な走査型プローブ顕微鏡観察法およびこれを利用した新規な走査型プローブ顕微鏡およびこれに用いる新規なプローブを提供することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明の走査型プローブ顕微鏡観察法は、少なくとも先端が三角形形状をした片持ち梁状の弾性部材を振動させ、振動する弾性部材の自由端近傍の軌跡を実質的な探針として、この実質的な探針と試料表面の間に働く相互作用により起こる弾性部材の振動状態の変化を検出し、この検出情報に基づき前記弾性部材の振動状態が所定の振動状態となるように前記試料表面と前記弾性部材との位置関係を制御しながら、前記試料表面と前記弾性部材を相対的に走査して、試料表面の情報を得る。

【0020】本発明の走査型プローブ顕微鏡用プローブは、支持部と、該支持部に保持される片持ち梁状の弾性部材部と、該弾性部材部の自由端に設けられた探針部と、前記弾性部材の振動状態を検出する検出機構とを有し、前記探針部の形状が平板三角形形状であり、前記探針部の面法線方向とその先端の二点を結ぶ稜線とが平行である。

【0021】本発明の走査型プローブ顕微鏡は、前述の走査型プローブ顕微鏡用プローブと、前記走査型プローブ顕微鏡用プローブに振動を加えて実質的な探針を得る加振手段と、試料表面と前記実質的な探針の先端との間の相互作用に基づく前記走査型プローブ顕微鏡用プローブの振動状態の変化を検出する振動検出手段と、前記実質的な探針と前記試料表面とを相対的に三次元方向に走査する走査手段と、前記振動検出手段からの情報に応じて前記試料表面と前記実質的な探針との間の相互作用を一定に保つように走査手段を制御する制御手段と、前記制御手段からの制御信号に基づいて前記試料表面の凹凸状態を得る情報処理手段とを有している。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明

の実施の形態について説明する。本発明の実施の形態の走査型プローブ顕微鏡用プローブについて図1を参照しながら説明する。図1(a)は走査型プローブ顕微鏡用プローブの側面図、図1(b)はプローブの斜視図、図1(c)はプローブの探針部の拡大斜視図である。

【0023】図1(a)と図1(b)に示されるように、プローブ100は、支持部101から延びる弾性体から成る片持ち梁(弾性部材部)102の自由端に探針部103が形成されている。図1(c)の拡大図から分かるように、探針部103は平板三角形形状をしており、その先端の二つの頂点106と107において三本の稜線が終端している。平板三角形形状の探針部103の面法線方向とその先端の二つの終端点106と107を結ぶ稜線は平行になっている。測定に際しては、これら二つの終端点106と107もしくはこれらの二点を結ぶ稜線が実質的な探針として作用し、試料表面との間で相互作用(例えば、原子間力、接触力など)を生じる。なお、実質的な探針については後に再度説明を加える。

【0024】また、片持ち梁状の弾性部材部102と平板三角形形状の探針部103は、その面法線方向が平行であるが、その厚さと形状は異なっている。弾性部材部102の厚さは、所望の共振周波数等の機械振動特性を得るに適した厚さであり、探針部103の厚さは、試料の凹部に入り込めるように十分薄くなっている。

【0025】弾性部材部102と支持部101との境界付近には、弾性部材部102の振動状態を検出する検出機構部104が設けられている。検出機構部104で検出される弾性部材部102の振動状態を示す信号は、図1(b)に示される二つの電極105aと105bを介して外部に取り出される。図1(a)では二つの電極105aと105bを代表的に一つの符号105で示してある。

【0026】検出機構部104は、例えば、シリコンの圧電抵抗効果を利用したセンサーで構成される。しかし、検出機構部104は、これに限定されるものではなく、他の色々な素子を適用してもよい。例えば、前述のセンサーに代えて、ポリシリコンの圧電抵抗効果を利用したセンサーを適用することも可能であり、あるいは、酸化亜鉛やPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)等の圧電効果を利用したセンサーを適用することも可能である。一般に、圧電抵抗効果を利用したセンサーは作製が簡単であるという利点を有し、圧電効果を利用したセンサーは熱雑音が少なく高感度であり、周波数帯域も高く設計することができるという利点を有している。

【0027】実際に作製したプローブ100の代表的な寸法は、短冊形状の片持ち梁状の弾性部材部102は長さ80 μ m、幅30 μ m、厚さ4.5 μ mであり、平板三角形形状の探針部103は軸方向長さ10 μ m、底辺幅5 μ m、厚さ0.2 μ mである。また、弾性部材部102と探針部103を合わせた片持ち梁状部分の機械的共

振周波数は約 600 kHz であり、平板三角形の探針部 103 はこれよりも高い値の機械的共振周波数を有している。

【0028】弾性部材部 102 は、測定回路の周波数帯域等に応じて最適設計がされるが、長さは 20~300 μm 、幅は 10~80 μm 、厚さは 1~8 μm 程度である。また、探針部 103 は、弾性部材部 102 の共振周波数と測定試料の形状を考慮して設計され、その厚さ寸法には試料の凹部の幅よりも小さい値が選択され、軸方向長さは 3~20 μm 、底辺幅 2~15 μm 、厚さは 0.05~0.5 μm である。

【0029】次に図 2 を参照しながらプローブと試料の配置関係について説明する。図 2 (a) は試料表面の測定時のプローブの配置状況を示し、図 2 (b) はプローブの探針部の周辺を拡大して示している。

【0030】図 2 (a) に示されるように、プローブ 100 は、その探針部 103 の軸方向（従って弾性部材部 102 の軸方向）が、試料台 202 に載せられた試料 201 の平均的な面法線方向に平行となるように、プローブ保持材 203 に固定されている。プローブ保持材 203 には、電極パターン 204 が印刷により形成されており、この電極パターン 204 はワイヤー 208 を介してプローブ 100 の電極 105 と電氣的に接続される。これにより、弾性部材部 102 の振動状態を反映する検出機構部 104 からの信号は、電極パターン 204 を介して、振動検出回路（図 4 (b) に符号 432 で示される）に導かれる。

【0031】実際には、プローブ 100 は図 1 (b) に示されるように二つの電極 105 a と 105 b を有しており、従って、プローブ保持材 203 も二つの電極パターンを有し、それぞれ別々のワイヤーを介して電極 105 a と 105 b に接続されるが、図 2 (a) では、プローブ 100 の電極の一方を符号 105 で、ワイヤーの一方を符号 208 で、プローブ保持材 203 の電極パターンの一方を符号 204 で代表的に示している。

【0032】また、プローブ保持材 203 の反対側には電極パターン 206 が印刷により形成されており、圧電体 205 が接着されている。また、圧電体 205 の反対側の電極 207 はワイヤー 209 を介して、プローブ保持材 203 上に形成された（図示しない）別の電極に接続されている。圧電体 205 は、これらの電極パターンを介して圧電体駆動回路（図 4 (b) に符号 433 で示される）に接続され、圧電体駆動回路で発生される交流電圧を受けて、プローブ 100 の弾性部材部 102 と探針部 103 を共振周波数付近の周波数で励振させる。

【0033】図 2 (b) に示されるように、弾性部材部 102 の厚さは試料 201 の二つの突起の間の幅と同程度であり、弾性部材部 102 は試料 201 の凹部には入り込めないが、探針部 103 の厚さは弾性部材部 102 の厚さに比べて薄く、探針部 103 は試料 201 の二つ

の突起の間に入り込める。しかも、探針部 103 は平板状であり、図の方向から見たとき、試料 201 の二つの突起の傾斜角より実質的に切り立っているため、試料 201 の二つの突起の根本の部分まで達することができる。

【0034】探針部 103 の先端の二つの終端点 106 と 107 の一方もしくは両者を結ぶ稜線が試料 201 に最も接近し、試料 201 に最も近い部分が相互作用を引き起こす部位として作用する。図 2 (b) では、試料 201 の右側の突起の側壁に対しては終端点 107 が最も近くに位置し、これが相互作用を引き起こす部位として作用するが、試料 201 の右側の突起の側壁に対しては終端点 106 が最も近くに位置し、これが相互作用を引き起こす部位として作用する。また、試料 201 の二つの突起の間の底面に対しては二つの終端点 106 と 107 を結ぶ稜線が最も近くに位置し、これが相互作用を引き起こす部位として作用する。

【0035】続いて、本発明の走査型プローブ顕微観察法について図 3 を参照しながら説明する。図 3 (a) は基本モードで振動しているプローブの様子を示し、図 3 (b) は高次のモードで振動しているプローブの様子を示し、図 3 (c) は振動している片持ち梁の瞬間瞬間における様子を示し、図 3 (d) は振動している片持ち梁の一周期以上の時間間隔において見える様子を示している。これらの図では、振動の状態を分かり易く示すため、弾性部材部と探針部は一つの片持ち梁として示してある。

【0036】図 3 (a) において、圧電体 303 を励振すると、その振動エネルギーは支持部 301 を介して片持ち梁 302 に伝わる。これが片持ち梁 302 の共振モードに一致するとき、片持ち梁 302 は例えば図 3

(a) に示されるように基本モードで振動し、あるいは図 3 (b) に示されるように高次のモードで振動する。片持ち梁 302 は自由端が最大の振幅を示し、実際の場面では、この振幅は 0.005~0.3 μm 程度に設定される。

【0037】図 3 (c) に示されるように、振動している片持ち梁 302 の一瞬一瞬における形状は、非常に薄い一枚の三角形の板状であるが、振動の 1 周期以上の長い時間で見た片持ち梁 302 の軌跡は、図 3 (d) に示されるように、自由端が厚みを増した形となる。

【0038】本発明の走査型プローブ顕微観察法では、振動している片持ち梁 302 の軌跡を実質的な探針と見なし、この実質的な探針と試料表面との間に働く相互作用に基づいて、試料表面の観察を行なう。

【0039】実質的な探針は、図 3 (d) に示されるように、二つの頂点 303 と 304 およびこれらの二点を結ぶ円弧状の稜線を有している。このような形状は片持ち梁 302 を振動させることによって初めて得られるものであり、これを一つの立体として半導体プロセスを用

10

20

30

40

50

いて作製することは極めて難しい。

【0040】次に、本発明による走査型プローブ顕微鏡について図4を参照して説明する。図4(a)は走査型プローブ顕微鏡の概略的な構成を示し、図4(b)はコントローラの構成を示している。

【0041】図4(a)に示されるように、プローブ100は試料401に対向させて配置される。装置ベース407の上には、回転ステージ402とX粗動ステージ403とY粗動ステージ405とからなる粗動ステージが設けられており、この上に試料401が保持される。X粗動ステージ403とY粗動ステージ405は、コンピュータ419からの制御信号に基づいて、X粗動ステージ駆動機構404とY粗動ステージ駆動機構406によって駆動され、これによりプローブ100と試料401の水平方向の相対位置を調節できる。また、回転ステージ402も、コンピュータ419からの制御信号に基づいて、図示しない駆動機構によって駆動され、これによりプローブ100の探針部103の面法線方向と測定すべき試料401上の測定パターン等の延在方向との間の相対調整を行なえる。

【0042】プローブ100は保持部材417を介してスキャナ411に取り付けられ、スキャナ411はスキャナ保持部材410に接着保持されている。スキャナ保持部材410はZ粗動ステージ409を介して、装置ベース407に立てられた支柱408取り付けられている。Z粗動ステージ409を上下させることにより、スキャナ保持部材410とスキャナ411とプローブ100とが一緒に上下動し、プローブ100と試料401の間隔を調整できる。

【0043】スキャナ411は圧電体からなるチューブ型のスキャナであり、コントローラ418およびコンピュータ419からの制御駆動信号をスキャナ電極412に印加することにより、XYおよびZ方向に微動する。これによりスキャナ411に支持されたプローブ100を試料401に対して走査させることができる。

【0044】X変位センサー414とY変位センサー416は、スキャナ保持部材410に固定されたX変位センサー保持部413とY変位センサー保持部415によってそれぞれ保持されている。このため、Z粗動ステージ409の上下動に対して、X変位センサー414とY変位センサー416はスキャナ411と一緒に上下し、その相対位置は変化せず、一定に保たれる。スキャナ411の動きは、X変位センサー414とY変位センサー416などによってモニタリングされ、それらからの出力はコントローラ418あるいはコンピュータ419に取り込まれる。

【0045】コントローラ418内には、図4(b)に示されるように、各種の機能ユニット、具体的には、コンピュータ419からの制御信号に基づいてプローブ100を所定の周波数で加振するための圧電体駆動回路4

33、プローブ100の検出機構部104からの信号を増幅し弾性部材102の振動状態の変化を検出する振動検出回路432、振動検出回路432からの信号をコンピュータ419から供給される一定の設定値に維持するようにスキャナ411をZ方向に駆動制御するサーボ回路435、スキャナ411をZ方向に駆動するZ駆動回路431、XY走査波形発生回路436からの信号をもとにスキャナ411をXY方向に駆動するXY駆動回路430、粗動ステージ403と405を駆動するための粗動ステージ駆動回路434などが含まれている。また、粗動ステージの構成上、例えば、粗動ステージ駆動回路434に回転ステージ402を駆動させるための機能を持たせてもよい(図4(b)に示す)。更に、コンピュータ419は、コントローラ418のサーボ回路435の制御信号をもとに試料表面の凹凸状態を演算し、表示手段であるモニター420に表示するほか、キーボードなどの命令入力デバイスとして作用する。

【0046】図2(a)と図4(a)に示されるように、プローブ100は探針部103の軸方向が平均的な試料401の面法線方向と平行になるように配置される。プローブ100を励振するための圧電体205には、プローブ100の弾性部材102と探針部103の共振周波数付近の周波数の交流電圧が印加される。その結果、プローブ100の弾性部材102と探針部103は、試料401の平均的な面に平行な方向に振動する。

【0047】プローブ100が励振されながら試料401に近づけられ、その探針部103の先端(厳密には図3(d)に符号303と304で示される実質的な探針の頂点もしくはそれらを結ぶ稜線)と試料401の表面との間に相互作用が生じると、試料401上の突起の側壁からは探針部103の面法線方向(試料の平均的な面に平行な方向)に、試料401上の突起間の底面からは探針部103の軸方向(試料の平均的な面法線方向)に力を受けて、弾性部材102の振動状態が変化する。

【0048】この振動状態の変化はプローブ100の検出機構部104および振動検出回路432によって検出される。サーボ回路435は、この検出信号をコンピュータ419からの一定の設定値に保つように、駆動回路431を介してスキャナ411のZ方向位置を駆動制御する。コンピュータ419は、このときの制御信号を、そのときの探針部103のXY方向位置における試料401のZ方向の位置情報として取り込み、XY方向位置とZ方向位置情報とを対応させて演算処理することにより、試料401の表面形状を算出する。算出された表面形状は、例えば、三次元像としてモニター420に表示される。

【0049】ところで、片持ち梁の自由端にそこからほぼ垂直に突出する探針を備えたプローブを用いた従来の走査型プローブ顕微鏡では、プローブの支持部が試料に

衝突するのを避けるために、プローブは片持ち梁が斜め下方に延びるように装置に取り付けられる。その結果、プローブは、探針の軸が試料の平均的な面法線方向に対して傾斜した姿勢で支持される。このため、得られる情報は、探針の傾斜方向に依存したものとなる。例えば、探針の傾斜方向（試料の平均的な法線方向と探針の軸を含む平面に平行な方向）に関して対称性を持つ試料を測定した場合に得られる画像は、その方向に関する対称性は保存されず、対称性を失った歪んだものとなる。

【0050】しかしながら、本発明の走査型プローブ顕微鏡では、上述したように、プローブ100は、その探針部103の軸が試料401の平均的な面法線方向に平行となるように配置されるので、得られる情報は試料表面の傾斜方向に依存しない。従って、探針部103の主走査方向（図2（b）の面に平行な方向）に対称性を持つ試料の測定結果は、その対称性が失われていない正確なものとなる。

【0051】ここで、本発明の走査型プローブ顕微鏡と従来のシアフォースモードAFMとの違いについて説明する。シアフォースモードAFMは、例えば米国特許5254854等の開示されており、プローブを振動させている点だけに関しては、本発明の走査型プローブ顕微鏡と似ているとも言える。

【0052】しかしながら、従来のシアフォースモードAFMでは、先端が一点に終端したプローブを用いており、その先端の曲率半径は10nm程度である。また、振動しているプローブの先端が描く軌跡は横方向分解能を落とす要因となるため、プローブの振動状態を検出できさえすれば、プローブ先端の振動の軌跡の幅は出来る限り小さくすることが望ましい。

【0053】このように、シアフォースモードAFMは、プローブを振動させる点を除いては、プローブを振動させたときの探針部の振動の軌跡を実質的な探針とし、その形状の特徴を積極的に利用している本発明の走査型プローブ顕微鏡とは大きく異なっている。

【0054】以上の説明から分かるように、本実施形態の走査型プローブ顕微鏡では、プローブ位置のZ方向のみのフィードバック制御だけで、試料上の垂直もしくはそれに近いスローブ角度を有する部分を測定できるため、短時間で測定を行なうことができる。

【0055】本実施形態では、プローブ位置のフィードバック制御の方向をZ方向に関してのみ行なっているが、ロックインアンプを用いて振幅の他に位相等によりプローブの振動状態をより詳しく検出して、それに基づきプローブ位置をZ方向から傾いた方向に動かすことも可能である。これによれば、垂直壁に留まらず、わずかにオーバーハングしたような部分を有する試料の側壁の測定も可能になる。

【0056】また、本実施形態におけるフィードバック制御は、試料測定（走査）の間、試料とプローブとの間

に働く相互作用を常に一定に保つように行なわれるが、測定点毎に試料とプローブとを近接（アプローチ）させたり、離したりする制御を行なうことも有効である。

【0057】すなわち、通常、試料測定における1走査ライン上には、測定点（例えば、等間隔で256点または512点）が設定されるため、この制御においては、測定時に、これら測定点毎にプローブを停止し、プローブと試料とを接近（アプローチ）させ、所望の試料情報を取り込んだ後に両者を離し、次の測定点に移動する。このプローブの上下動は、本実施の形態で説明したスキヤナ411を用いて行なうのが有効である。

【0058】このような制御を試料の測定（走査）領域で繰り返し実行し、試料表面情報とすることができる。この測定によれば、各測定点に移動する時は、プローブと試料とを離しながら移動するため、試料とプローブとが必要以上に接触し破損してしまうという不具合を減少させることができる。

【0059】以下、プローブ100の作製方法について図5を参照しながら説明する。まず、スタートウェハーとして面方位（100）の単結晶シリコン貼り合わせウェハーを用意する（図5（a））。二枚の単結晶シリコン501と503はその中間の酸化シリコン層502に貼り付けられ接合されている。活性層501の厚さは10μm厚さのものを利用するが、次のプロセスに移る前に、5.5μm厚さまでエッチングにより薄くしておく。

【0060】この表面の活性層501の一部504をドライエッチングを用いたフォトリソグラフィーによりエッチングした後、酸化シリコン膜505を形成し、再びフォトリソグラフィーにより四角い開口を形成する。更に拡散炉にて開口部からボロンを活性層501に拡散させたうえでアニーリング処理を施してピエゾ抵抗層506を作製する（図5（b））。

【0061】次に、表面の酸化シリコン層を505を除去し、再度、酸化シリコン層507を堆積した後、フォトリソグラフィーによりパターニングを施し、ピエゾ抵抗層506上の二カ所に開口を形成し、ピエゾ抵抗層506から電極を取り出す箇所を形成する（図5（c））。

【0062】続いて、図5（d）に示すように、表面に窒化シリコン膜508をLP-CVD（低圧化学気相蒸着法）により0.2μmの厚さ堆積し、図5（e）に示すように、その一部509をパターニングして除去する。これにより、プローブの探針部の形状510がおおよそ形成される。また、図5（f）に示すように、ピエゾ抵抗層506の電極取り出し部分上の窒化シリコン膜を取り除いて開口511を形成し、ピエゾ抵抗層506の一部を露出させる。

【0063】図5（g）に示すように、電極を形成した後、ピエゾ抵抗層506上の二つの開口部と電極パター

10

20

30

40

50

ン512およびそれらをつなぐ配線パターンを、リフトオフプロセスを利用してクロムと金を真空蒸着しパターンニングする。

【0064】次に、表面にポリイミド膜をコーティングして湿式エッチング液に対する保護層513を形成した後、ウェハー裏面の窒化シリコン層514をマスクとして、水酸化カリウム水溶液により湿式異方性エッチングを行ない、シリコンウェハーの裏側の一部515を溶かす。次に露出した酸化シリコン層516をフッ酸により除去して(図5(i))、プローブを得る。

【0065】図5(j)に示されるように、プローブをプローブ保持材519に接着し、プローブの電極パターン512とプローブ保持材519の電極517をワイヤー518で結ぶ。プローブ保持材519は例えばセラミックス板であり、電極517は金ペーストを印刷しパターンニングして形成する。図示していないが、好ましくはワイヤー518の回りは保護用の樹脂で封止する。

【0066】これまでに説明したように、プローブの探針部は膜堆積で作製されるので、その膜厚のパラッキは10%以内に納められ、同じ形状の探針部を容易に作るができる。また、これにより検査コストの低減や歩留まりの向上が図られ、比較的安価なプローブが提供される。

【0067】また、探針部は膜堆積で作製されるので、薄くて高アスペクト比のプローブが安定に作製できる。これにより探針部の厚さより広い凹部であれば、スロープ角が90度近辺までの側壁の測定が可能となる。

【0068】更に、探針部の材料として窒化シリコン膜を用いているので、探針部の磨耗が少ないプローブが提供され、これは測定データの再現性を高める。また、探針部と弾性部材部が平行であり一体の片持ち梁を構成しているため、それぞれの厚さや形状を違えてそれぞれの目的の為に最適な形状に設計したときも、作製上発生する問題が少ない。このことより、プローブは安定して作製することができる。

【0069】さらに、弾性部材の振動状態の検出機構が集積化されているので、そのための別のセンサーを外部に設ける必要がなく、走査型プローブ顕微鏡を小型で簡単な構成とすることができる。その結果、剛性の高い外乱振動につよい安定した装置とすることができる。

【0070】探針部の二つの終端点106と107を結ぶ線に平行にプローブを見たときの探針部の形状は三角形であり、その頂角は5~30度程度と大きい。これは測定対象部位として、例えば半導体ICの電極パターンが平行になっているところに限れば問題はなく、段差の側壁(垂直壁)の粗さや傾き角を測定することが可能になる。

【0071】プローブを振動させたときの探針先端の軌跡を実質的な探針として利用することにより、作製プロセス上形状が安定している探針を使用して、試料上の垂直もしくはそれに近いスロープ角度を有する部分の測定が可能になる。

【0072】また、プローブはその探針部の軸が試料の平均的な面法線方向に平行となるように配置され、プローブを振動させたときの探針先端の軌跡を実質的な探針として利用することにより、対称性良く、試料上の垂直もしくはそれに近いスロープ角度を有する部分の測定が可能になる。

【0073】さらに、従来のシアフォースモードと同等の制御方法によってプローブ位置をZ方向に制御するだけで、短時間の内に、試料上の垂直もしくはそれに近いスロープ角度を有する部分の測定が可能になる。また、プローブ位置をZ方向から傾けた方向に制御することにより、より傾いた垂直壁を有する部分の測定が可能になる。

【0074】

20 【発明の効果】本発明によれば、プローブを振動させたときの探針部先端の軌跡を実質的な探針として利用することにより、試料上の垂直もしくはそれに近いスロープ角度を有する部分の測定を可能とする走査型プローブ顕微鏡観察法および走査型プローブ顕微鏡が実現される。また、これに用いるための、作製時の形状ばらつきが少ない低コストなプローブが提供される。

30 【0075】また、本発明の走査型プローブ顕微鏡観察法および走査型プローブ顕微鏡では、プローブの探針部の軸が試料の平均的な面法線方向に平行であるので、試料表面の凹凸を対称良く測定できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態による走査型プローブ顕微鏡用プローブを示している。

【図2】図1の走査型プローブ顕微鏡用プローブの測定時の状態を示している。

【図3】本発明の実施の形態による走査型プローブ顕微鏡観察法を説明するための図である。

【図4】本発明の実施の形態による走査型プローブ顕微鏡を示している。

40 【図5】図1の走査型プローブ顕微鏡用プローブの作製方法を説明するための図である。

【符号の説明】

100 プローブ
101 支持部
102 弾性部材部
103 探針部
104 検出機構部

【図 5】

